

不同栽培模式及施氮量对土壤团聚体的影响

周从从¹, 陈竹君^{1,2*}, 赵世翔¹, 周建斌^{1,2}, 张晓敏¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过长期定位试验研究了不同栽培模式(休闲, 常规, 覆草, 垄沟覆盖)和施氮量(N0, N120, N240)条件下西北旱地土壤团聚体组成、稳定性及其与土壤有机碳、土壤水分、产量等的相关关系, 结果表明: 干筛法 0.25~10 mm 团聚体含量垄沟覆盖显著低于常规和覆草栽培模式, 而 >10 mm 的大团聚体显著高于常规和覆草模式, 垄沟覆盖栽培促进 0.5~5 mm 团聚体向更大级别进一步团聚; 干筛法 0.25~10 mm 团聚体总量 N240 处理显著高于 N0。湿筛法 >0.25 mm 水稳性团聚体含量覆草和垄沟覆盖栽培显著高于常规, 不同施氮量间无显著差异。干筛法团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)垄沟覆盖显著大于覆草和常规模式; 水稳性团聚体 MWD 覆草模式显著大于常规, 覆草模式 GMD 显著大于垄沟覆盖模式; 不同施氮量下水稳性团聚体 MWD 差异不显著, N0 处理的 GMD 显著大于 N120、N240。覆盖栽培可以提高土壤团聚体的稳定性, 不同施氮量间团聚体稳定性差异不显著。历年 2 m 土层土壤贮水量平均值与水稳性团聚体 GMD 呈显著正相关, 不同栽培模式主要通过影响土壤水分来影响土壤团聚体状况; 历年平均产量与水稳性团聚体 GMD 呈显著负相关, 说明干旱半干旱地区土壤水稳性团聚体直径应较小, 利于提高土壤保水和水分有效性, 进而促进作物产量的提高。

关键词: 栽培模式; 施氮量; 土壤团聚体组成; 平均重量直径(MWD); 几何平均直径(GMD)

中图分类号: S151.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0100-06

Effects of different cultivating patterns and nitrogen fertilizer application on soil aggregates

ZHOU Cong-cong¹, CHEN Zhu-jun^{1,2*}, ZHAO Shi-xiang¹, ZHOU Jian-bin^{1,2}, ZHANG Xiao-min¹

(1. College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agro-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The composition, distribution and stability of aggregate, and its relationships with soil organic carbon, soil moisture and yield were studied in a long-term fixed-location experiment. Different cultivating patterns (F, CC, SC, RF + SC) and different nitrogen fertilizer amount (N0, N120, N240) were tested to investigate their effects on soil aggregates in dryland of northwest China. The results showed that: ridge furrow + straw mulching pattern (RF + SC) planting significantly reduced the 0.25~10 mm dry-sieving aggregate content while significantly increased aggregate that is bigger than 10 mm, in comparison with conventional and straw mulching (SC) patterns. RF + SC pattern planting also promoted formation of bigger size aggregate from 0.5~5 mm one. Content of 0.25~10 mm aggregate by dry-sieving method was significantly higher in N240 treatment than in N0 treatment. Compared to conventional pattern, straw mulching significantly increased content of water stable aggregate with diameters greater than 0.25 mm. There were no significant differences in water stable aggregate with diameters greater than 0.25 mm among the different nitrogen fertilization treatments. Mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) of soil aggregate by dry-sieving method were significantly higher in RF + SC pattern than in SC and conventional patterns. MWD of water-stable aggregate in SC pattern was significantly greater than in conventional patterns, and its GMD was also significantly greater than in RF + SC pattern. N0 treatment significantly improved GMD of water stable aggregate than N120 and N240 treatment; however, there was

收稿日期: 2012-12-27

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30230230); 国家“十一五”科技支撑计划课题(2008BADA4B09); 西北农林科技大学拔尖人才支持计划(2006)

作者简介: 周从从(1986—), 女, 河北衡水人, 在读硕士, 研究方向为土壤物理学。E-mail: smilyzhou@sina.com。

* 通信作者: 陈竹君(1964—), 女, 副教授, 陕西杨凌人, 主要从事土壤学教学和研究工作。E-mail: zjchen@nwsuaf.edu.cn。

no significant difference in MWD among the three different N fertilizer treatments. Straw mulching and RF + SC patterns improved soil aggregate stability. There was no significant difference in aggregate stability among different nitrogen treatments. A significant positive correlation was observed between the average of water storage in 2 m soil profile over the 7 years and GMD of water stable aggregate, indicating that different planting patterns affect soil aggregation through its influence on soil water and that soil water condition is the determinant factor affected soil water stable aggregate in this region. The correlation between average yield and GMD of water stability aggregate was significantly negative, indicating that small aggregate is benefit for crop yield.

Keywords: cultivating patterns; nitrogen fertilizer; soil aggregate composition; geometric mean diameter (GMD); mean weight diameter (MWD)

西北干旱半干旱地区自然降水有限,且降水时空分布不均,为提高降水利用效率并有效集雨保墒,地膜覆盖、秸秆覆盖或二者结合成为该区有效增加土壤储水量、提高作物产量的重要技术措施而被广泛采用^[1-3]。不同覆盖节水栽培措施对土壤水分、温度的影响及作物产量的效应已有大量研究^[4-5],而关于不同覆盖节水栽培措施对土壤团聚体影响的研究较少。团聚体是土壤重要的物理性质,土壤有机质、土壤水热状况都是土壤团聚体形成的主要条件,同时,直径在0.25~10 mm团粒结构又具有协调土壤保水、透水、通气和稳定土壤温度和调节热状况的作用,二者相互作用,联系密切。不同的覆盖节水栽培措施会影响土壤中有机质的累积、矿化及土壤中水热运行,因而会对土壤团聚体产生一定的作用。以往的研究主要关注覆盖栽培对土壤水分聚集和蒸发的影响,较少考虑长期覆盖栽培对土壤团聚体的影响及其在协调水热方面的作用。因此,通过研究不同覆盖栽培措施和施氮量对土壤团聚体组成的影响,以期改善土壤结构,持续提高土壤肥力提供科学理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

田间试验于2003年6月—2010年10月在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站试验田(东经108°04'07",北纬34°17'56")进行。该试验田位于渭河头道塬,海拔523 m。该地区气候为温带大陆性季风气候,属半湿润易旱地区,冬春季易发生干旱。年均温为13℃,年均降水量630 mm左右,主要集中在7—9月(占年降水量的60%~65%),年均蒸发1400 mm。供试土壤为瘠土(系统分类名称为土垫旱耕人为土,Earth-cumuli-Orthic Anthrosols)。耕层土壤质地为粉砂质粘壤土。

1.2 试验设计

试验种植方式为冬小麦—夏玉米轮作,一年两

熟,设栽培模式和氮肥两个因素。栽培模式分为常规(CC)、覆草(SC)和垄沟覆盖(RF+SC)3种方式。其中覆草模式于小麦和玉米出苗后在作物行间进行秸秆覆盖(2003年6月—2008年6月覆盖小麦秸秆,2008—2010年在小麦种植期间覆盖玉米秸秆,玉米种植期间覆盖小麦秸秆),用量为4500 kg·hm⁻²;垄沟覆盖模式采用垄上覆膜、沟内种植并覆草的方式,垄沟比为30 cm:30 cm,覆草量为2250 kg·hm⁻²。氮肥设3个水平,以尿素(含N46%)为氮源,每季作物用量(N)分别为0、120和240 kg·hm⁻²(分别用N0、N120和N240表示)。磷肥以过磷酸钙(P₂O₅)作为底肥,用量均为80 kg·hm⁻²。小麦种植时磷肥和尿素在播种前以基肥均匀施入相应小区,玉米种植期间,氮肥分期穴施,其中苗期和拔节期追肥分别占总施氮量的1/3和2/3。试验采用裂区设计,其中栽培模式为主因素,施氮量为副因素。小区面积18 m²,重复4次。试验实施时,留出1个常规栽培模式不施肥处理,不种植任何作物,并定期清除杂草,代表休闲小区(F)。

1.3 样品采集与测定

土样于2010年10月玉米收获后采集耕层(0~20 cm)原状土,室内按裂隙掰成直径10 mm左右的团块,挑去动植物残体、石砾等,风干备用。分别采用人工干筛法和湿筛法(约得法)获得各级别团聚体的含量,干筛法分别通过孔径为10、7.5、3、2、1、0.5 mm和0.25 mm 8个筛级^[6],以30次·min⁻¹手工上下震荡5 min^[7];湿筛法分别通过孔径5、2、1、0.5 mm和0.25 mm 5个筛级^[6]。

1.4 数据处理与分析

分别采用各级别团聚体百分含量、平均重量直径(Mean weight diameter, MWD)^[8]、平均几何直径(Geometric mean diameter, GMD)^[9]和团聚体破坏率(PAD)^[10]等表示团聚体组成、结构性及其稳定性,MWD和GMD反映了土壤团聚体大小分布状况,其值越大代表团聚体的平均团聚度越高^[11]。

数据采用 Excel 2003 和 SAS 8.1 软件进行统计分析,用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式和施氮量对土壤团聚体组成的影响

2.1.1 干筛法团聚体组成 不同栽培模式和施氮量下,干筛法获得的 9 个级别团聚体中均以 > 10 mm 的大团聚体占优势(表 1),含量为 30.8% ~ 49.3%,最少的为 0.25 ~ 0.5 mm 团聚体,占 2.6% ~ 3.3%。栽培模式对土壤团聚体组成影响表明,垄沟覆盖栽培模式 > 10 mm 的大团聚体含量显著高于覆草和常规模式,覆草和常规模式间差异不显著。7 ~ 10 mm、5 ~ 7 mm 团聚体栽培模式间差异均不显著。0.5 ~ 5 mm 的 4 个级别团聚体含量中,垄沟覆盖栽培均显著低于覆草和常规模式,覆草和常规模式间差异未达到显著水平。3 种栽培模式的 0.25 ~ 0.5 mm 团

聚体含量均达到显著差异。综合各级团聚体看,与常规和覆草模式相比,垄沟覆盖栽培显著降低了 0.25 ~ 10 mm 团聚体含量,显著增加了 > 10 mm 的大团聚体含量,说明垄沟覆盖栽培有促进 0.5 ~ 5 mm 团聚体向更大级别进一步团聚的趋势,不利于团粒结构形成;与休闲相比,栽培作物减少了 0.25 ~ 10 mm 团聚体含量,增加了 > 10 mm 的大团聚体含量,说明土壤结构受作物、土壤水热状况等环境条件综合影响。

氮肥施用对土壤团聚体组成影响表现为随施氮量增加,0.25 ~ 10 mm 7 个级别中团聚体含量均有增加趋势,但差异均未达显著水平,而 0.25 ~ 10 mm 团聚体总量 N240 处理显著高于 N0 处理,N120 与 N0 和 N240 处理间差异不显著。随施氮量增加,> 10 mm 的大团聚体含量有降低趋势,< 0.25 mm 呈增加趋势,但差异未达显著。

表 1 干筛法获得的不同栽培模式和施氮量下土壤团聚体的组成/%

Table 1 Composition of dry-sieving aggregates under different cultivating patterns and nitrogen application

处理 Treatment	土壤团聚体 Soil aggregate										
	> 10mm	10 ~ 7mm	7 ~ 5mm	5 ~ 3mm	3 ~ 2mm	2 ~ 1mm	1 ~ 0.5mm	0.5 ~ 0.25mm	< 0.25mm	0.25 ~ 10mm	
栽培模式 Cultivating patterns	休闲 F	30.8	11.8	5.2	15.0	8.0	11.0	10.8	3.3	4.0	65.1
	常规 CC	38.5b	13.7a	5.0a	13.8a	5.7a	7.3a	8.2a	3.3a	4.5a	57.0a
	覆草 SC	39.0b	14.8a	5.1a	13.9a	6.0a	7.8a	7.6a	2.6b	3.3b	57.7a
	垄沟覆盖 RF + SC	49.3a	14.3a	4.7a	12.1b	4.4b	5.5b	5.2b	1.8c	2.6b	48.1b
施氮 Nitrogen application	N0	45.7a	13.7a	4.8a	12.8a	5.0a	6.5a	6.3a	2.2a	3.1a	51.2b
	N120	42.6a	13.8a	4.6a	13.0a	5.4a	7.0a	7.3a	2.7a	3.5a	53.9ab
	N240	38.6a	15.3a	5.4a	14.0a	5.7a	7.1a	7.4a	2.7a	3.7a	57.6a

注:同列数据后不同字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$)。下同。

Note: The small letter in the same column means significant difference at 0.05 level. Hereinafter the same.

2.1.2 水稳性团聚体组成 湿筛法获得的 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量反映了消散和机械崩解机制下稳定的团聚体数量^[12]。在农业上最有价值的土壤结构是水稳性的团聚体,我国多数研究者也以水稳性团聚体含量的多少,作为土壤结构评定的指标^[8]。表 2 看出:> 0.25 mm 水稳性团聚体占 11.4% ~ 33.1%; < 0.25 mm 级别占 66.9% ~ 88.6%,成为主要组成;> 5 mm 最少,仅为 1.5% ~ 3.1%,说明垆土构性较差。不同栽培模式对 > 0.25 mm 的 5 个级别水稳性团聚体的影响规律不同,其中 > 5 mm 级别含量覆草模式显著高于常规和垄沟覆盖模式,常规和垄沟覆盖模式间无差异;2 ~ 5 mm 含量覆草显著高于常规,垄沟覆盖模式与常规、覆草间差异不显著;1 ~ 2 mm 表现为垄沟覆盖显著高于

覆草和常规,覆草常规间差异不显著;0.5 ~ 1 mm 垄沟覆盖显著高于常规,覆草与常规、垄沟覆盖间差异均不显著;0.25 ~ 0.5 mm 覆草和垄沟覆盖均显著高于常规,覆草和垄沟覆盖间差异未达显著水平。从 > 0.25 mm 水稳性团聚体总量看,覆草和垄沟覆盖显著高于常规,覆草和垄沟覆盖间无差异。

不同施氮量对 > 0.25 mm 水稳性团聚体的 5 个级别的影响规律亦不尽一致,> 5 mm 级别不同栽培模式间差异均不显著,2 ~ 5 mm 级别 N0 显著高于 N120 和 N240,N120 和 N240 处理间差异不显著;1 ~ 2 mm 不同施氮量间均达到显著差异,N0 > N120 > N240;0.5 ~ 1 mm 级别 N120 显著高于 N0 和 N240,N0 和 N240 间差异不显著;0.25 ~ 0.5 mm N120 和 N240 显著高于 N0,N120 和 N240 间差异不显著。

> 0.25 mm 水稳性团聚体总量上不同施肥量间无显著差异。

表 2 不同栽培模式和施氮量土壤水稳性团聚体的组成/%

Table 2 Composition of water-stable aggregates under different cultivating patterns and nitrogen application

处理 Treatment	土壤团聚体 Soil aggregate							
	> 5mm	5 ~ 2mm	2 ~ 1mm	1 ~ 0.5mm	0.5 ~ 0.25mm	> 0.25mm	< 0.25mm	
栽培模式 Cultivating patterns	休闲 F	3.0	0.2	0.7	3.1	4.4	11.4	88.6
	常规 CC	1.5b	2.3b	3.8b	8.8b	8.6b	25.0b	75.0a
	覆草 SC	3.1a	3.6a	4.6b	9.9ab	11.7a	32.9a	67.1b
	垄沟覆盖 RF+SC	1.5b	2.7ab	5.7a	10.4a	12.8a	33.1a	66.9b
施氮 Nitrogen application	N0	2.1a	3.9a	6.0a	9.4b	9.2b	30.6a	69.4a
	N120	1.8a	2.5b	4.6b	11.0a	12.1a	32.0a	68.0a
	N240	2.2a	2.2b	3.3c	8.8b	11.9a	28.4a	71.6a

2.2 不同栽培模式和施氮量对土壤团聚体状况和稳定性的影响

2.2.1 不同处理团聚体状况的评价 为综合评价土壤团聚体大小和分布状况,通常以平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)作为衡量指标^[8,13]。干筛法团聚体(图 1a)的均重直径(MWD)为 5.46 ~ 7.15 mm,几何平均直径(GMD)为 1.77 ~ 2.12 mm。栽培作物的土壤干筛法团聚体 MWD 和 GMD 均大

于休闲。生产上较为理想的结构体是 1 ~ 3 mm 的团聚体,群众称之为“蚂蚁蛋”、“米粳子”,因此,干筛法获得的瘠土团聚体 MWD 偏大。不同栽培模式对于干筛法获得的团聚体 MWD 和 GMD 的影响均表现为垄沟覆盖 > 覆草 > 常规,且垄沟覆盖与覆草、常规模式间均有显著差异。不同施氮量下 N0 处理的 MWD 值显著大于 N240, N120、N0 间及 N120、N240 间差异不显著;对 GMD 无显著影响。

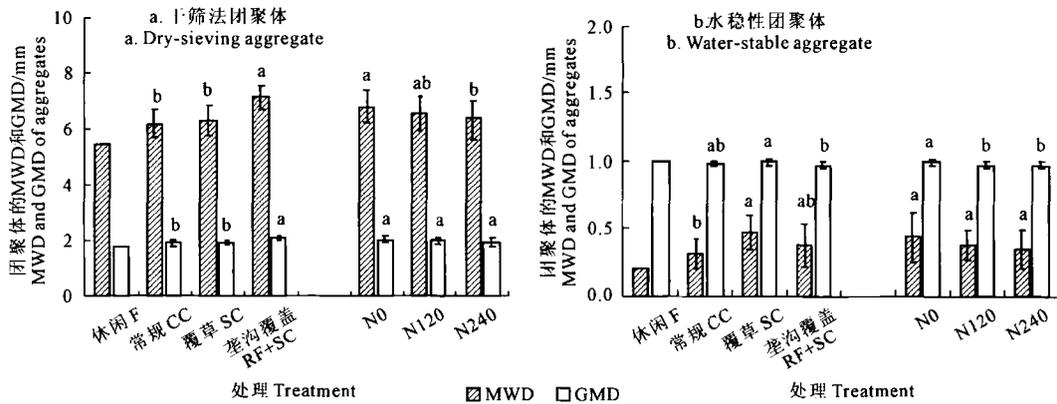


图 1 不同栽培模式及施氮量下土壤团聚体 MWD 和 GMD

Fig. 1 MWD and GMD of soil aggregates under different cultivating patterns and nitrogen application

水稳性团聚体 MWD(图 1b)为 0.21 ~ 0.47 mm, GMD 为 0.97 ~ 1.00 mm,说明瘠土水稳性团聚体平均重量直径和几何平均直径均较小。栽培作物的土壤水稳性团聚体 MWD 大于休闲。不同栽培模式和施氮量对水稳性团聚体 MWD 和 GMD 的影响与干筛法不同,覆草模式水稳性团聚体 MWD 显著大于常规模式,垄沟覆盖水稳性团聚体 MWD 较常规也有提高,但其与常规及覆草模式均无显著差异;覆草模式水稳性团聚体 GMD 显著大于垄沟覆盖模式,常规与覆草及常规与垄沟覆盖间差异均不显著。不同施氮量下水稳性团聚体 MWD 随施氮量增加而降

低,但差异不显著;对 GMD 的影响为 N0 处理显著大于 N120、N240 处理, N120 和 N240 间差异不显著。2.2.2 土壤团聚体的稳定性 团聚体的稳定性可以用 > 0.25 mm 团聚体破坏率(PAD)表示,破坏率越大,土壤结构的稳定性越差,反之越稳定^[12]。由图 2 看出,休闲模式的团聚体破坏率最大,为 82.48%,3 种栽培模式之间常规模式显著大于覆草和垄沟覆盖,覆草和垄沟覆盖间无差异,说明覆草和垄沟覆盖栽培可以提高土壤团聚体的稳定性。不同施氮量间团聚体稳定性差异不显著。

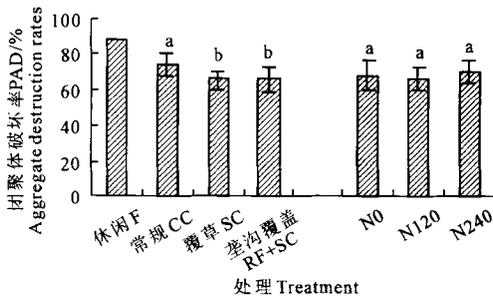


图 2 不同栽培模式和施氮下土壤团聚体的破坏率

Fig. 2 Aggregate destruction rates under different cultivating patterns and nitrogen application

2.3 土壤团聚状况与土壤有机 C、C/N、水分及产量的关系

土壤团聚体的形成和稳定性受物质基础和外界环境的影响,物质基础包括粘粒和细粉粒、有机质、交换性阳离子组成、游离铁铝硅胶体、碳酸钙和其它易溶盐等,外界环境因素包括水、热、动植物和人类活动等^[14-15]。本试验研究中由于每年秸秆覆盖,土壤有机质含量发生变化,另外不同覆盖措施使土壤水、热、作物产量等环境因素也产生了差异。为

此,将土壤团聚状况与土壤有机 C、C/N、历年 2 m 土层贮水量平均值和历年平均产量间进行相关分析,探讨它们间的相互关系。结果表明(表 3),土壤有机 C 和 C/N 与干筛法 0.25 ~ 10 mm 团聚体、> 0.25 mm 水稳性团聚体以及团聚体 GMD 和 MWD 均有一定的正相关关系,但其相关性均未达到显著水平。

历年 2 m 土层土壤贮水量平均值与干筛法 0.25 ~ 10 mm 团聚体、干筛法团聚体 MWD、GMD 及 > 0.25 mm 水稳性团聚体及其 MWD 均呈一定的正相关关系,与水稳性团聚体 GMD 间达显著正相关,说明该地区不同栽培模式主要通过影响土壤水分状况来影响土壤水稳性团聚体的大小。历年平均产量与水稳性团聚体 GMD 呈显著的负相关关系,说明干旱和半干旱地区土壤团聚体颗粒直径应小一些,土壤保水性和水分有效性会更好^[8],进而有利于促进作物产量的提高。本试验研究结果也表明,垄沟覆盖栽培模式显著提高了较小级别水稳性团聚体(0.25 ~ 2 mm)的含量,使水稳性团聚体 GMD 降低,垄沟覆盖栽培模式的小麦玉米总产量和水分利用效率都显著高于常规和覆草^[16]。

表 3 土壤团聚体与土壤有机 C、C/N、土壤贮水量及产量的相关分析

Table 4 Correlation analysis of soil aggregation with soil organic matter, C/N, water storage and the yield

相关系数 Correlation coefficient	干筛法团聚体 Dry-sieving aggregate			水稳性团聚体 Water-stable aggregate			破坏率 PAD
	0.25 ~ 10 mm	MWD	GMD	> 0.25 mm	MWD	GMD	
土壤有机碳 SOC	0.34	0.17	0.20	0.60	0.24	0.03	- 0.21
土壤碳氮比 C/N	0.17	0.19	0.22	0.32	0.26	0.06	- 0.22
历年 2 m 土层平均贮水量 Average soil water stage in 2 m depth from 2003 to 2010	0.41	0.41	0.41	0.25	0.49	0.64*	- 0.34
历年平均产量 Average crop yield from 2003 to 2010	- 0.03	0.15	0.18	0.33	- 0.11	- 0.72*	- 0.14

注: * 表示显著水平为 $P < 0.05$ 。

Note: * stands for significance at 0.05 level.

3 结 论

1) 干筛法获得的逐级别团聚体结果表明,垄沟覆盖栽培 0.25 ~ 10 mm 团聚体含量显著低于常规和覆草模式,而 > 10 mm 的大团聚体显著高于常规和覆草模式,垄沟覆盖栽培有促进 0.5 ~ 5 mm 团聚体向更大级别进一步团聚趋势;干筛法 0.25 ~ 10 mm 团聚体总量 N240 处理显著高于 N0 处理。湿筛法获得的 > 0.25 mm 水稳性团聚体总量覆草和垄沟覆盖显著高于常规,覆草和垄沟覆盖间无差异; > 0.25 mm 水稳性团聚体总量上不同施氮量间无显著差异,逐级别间有差异。

2) 干筛法获得的团聚体 MWD 和 GMD 垄沟覆

盖显著大于覆草和常规模式,不同施氮量下 N0 处理的 MWD 值显著大于 N240,对 GMD 无显著影响。不同栽培模式和施氮量对水稳性团聚体 MWD 和 GMD 的影响与干筛法不同,覆草模式水稳性团聚体 MWD 显著大于常规模式,覆草模式水稳性团聚体 GMD 显著大于垄沟覆盖模式。不同施氮处理间水稳性团聚体 MWD 差异均不显著,对 GMD 的影响为 N0 处理显著大于 N120 和 N240 处理, N120 与 N240 间差异不显著。覆草和垄沟覆盖栽培可以提高土壤团聚体的稳定性,不同施氮量间团聚体稳定性差异不显著。

3) 水稳性团聚体 GMD 与历年 2 m 土层土壤贮水量平均值间达到显著正相关性水平,说明该地区

不同栽培模式主要通过影响土壤水分来影响土壤团聚体状况;与历年平均产量显著负相关,说明干旱和半干旱地区土壤水稳性团聚体颗粒直径应小一些,土壤保水和水分有效性会更好,进而促进作物产量的提高。

参考文献:

- [1] 薛澄,王朝辉,李富翠,等.渭北旱塬不同施肥与覆盖栽培对冬小麦产量形成及土壤水分利用的影响[J].中国农业科学,2011,44(21):4395-4405.
- [2] 李儒,崔荣美,贾志宽,等.不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(16):3312-3322.
- [3] 陈辉林,田霄鸿,王晓峰,等.不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响[J].生态学报,2010,30(9):2424-2433.
- [4] 高飞,贾志宽,韩清芳,等.秸秆覆盖量对土壤水分利用及春玉米产量的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):104-112.
- [5] 李富翠,赵护兵,王朝辉,等.旱地夏闲期秸秆覆盖和种植绿肥对冬小麦水分利用及养分吸收的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):119-125.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1981:514-518.
- [7] Klute A. Methods of soil analysis. part 1. physical and mineralogical methods[M]. Madison, Wisconsin, USA: ASA, Inc, 1986:425-442.
- [8] 姚贤良,程云生.土壤物理学[M].北京:农业出版社,1986:80-88.
- [9] 华孟,王坚.土壤物理学[M].北京:北京农业大学出版社,1993:20-26.
- [10] 杨如萍,郭贤仕,吕军峰,等.不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J].水土保持学报,2010,24(1):254-256.
- [11] Pirmoradian N, Sepaskhah A R, Hajabbasi M A. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments[J]. Biosystems Engineering, 2005,90(2):227-234.
- [12] 郭军玲,王虹艳,卢升高.亚热带土壤团聚体测定方法的比较研究[J].土壤通报,2010,41(3):542-546.
- [13] 祁迎春,王益权,刘军,等.不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J].农业工程学报,2011,27(1):340-347.
- [14] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):415-421.
- [15] 窦森,李凯,关松.土壤团聚体中有机质研究进展[J].土壤学报,2011,48(2):412-418.
- [16] 张宏,周建斌,王春阳,等.栽培模式及施氮对冬小麦-夏玉米体系产量与水分利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1078-1085.

(上接第82页)

通过对不同水氮耦合处理对番茄品质的研究,表明温室番茄生产中投入大量的氮肥和水氮的不均衡不仅没有造成番茄品质的提高,反而会使番茄品质降低。当今人们对蔬菜优质和安全的高度重视,要求我们从不同水分和氮素两方面考虑,选择较为理想的水氮耦合模式,对温室蔬菜生产的可持续发展起到至关重要的作用。本试验以西北地区气候为背景,提出了低水中氮($W_{1485}N_{410}$)处理的水氮耦合模式为获得番茄综合品质最优的水氮耦合模式,为当地蔬菜生产提供理论依据。

参考文献:

- [1] 梁运江,许广波,依艳丽.水肥耦合效应对辣椒 V_c 含量的影响[J].人民黄河,2008,30(10):73-74,79.
- [2] 王军,陈双臣,邹志荣.肥料增效剂对大棚番茄产量、品质的影响[J].陕西农业科学,2004,(2):33-36.
- [3] Machado R M A, Oliveira M R G. Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths[J]. Irrigation Science,2005,24:15-24.
- [4] 刘明池,陈殿奎.亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响[J].中国蔬菜,2002,(6):4-6.
- [5] 刘向莉.亏缺灌溉提高番茄果实品质风味的基础研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- [6] 夏秀波,于贤昌,高俊杰.水分对有机基质栽培番茄生理特性、品质及产量的影响[J].应用生态学报,2007,18(12):2710-2714.
- [7] 张国红,袁丽萍,郭英华,等.不同施肥水平对日光温室番茄生长发育的影响[J].农业工程学报,2005,21(增刊):151-154.
- [8] 周博,陈竹君,周建斌.水肥调控对日光温室番茄产量、品质及土壤养分含量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):58-62.
- [9] 陈碧华,郜庆炉,杨和连,等.日光温室膜下滴灌水肥耦合技术对番茄生长发育的影响[J].广东农业科学,2008,(8):63-65.
- [10] 杜太生,康绍忠.基于水分-品质响应关系的特色经济作物节水调质高效灌溉[J].水利学报,2011,42(2):245-252.
- [11] 袁志发,周静芊.多元统计数据分析[M].北京:科学出版社,2002:188-190.
- [12] 杨坚,童华荣,贾利蓉.豆腐乳感官和理化品质的主成分分析[J].农业工程学报,2002,18(2):131-135.
- [13] 岳田利,彭帮柱,袁宏,等.基于主成分分析法的苹果酒香气质量评价模型的构建[J].农业工程学报,2007,23(6):223-227.
- [14] 鲍士旦.土壤理化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-144.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 邱东.多目标综合评价方法的系统分析[M].北京:统计出版社,1991.
- [17] 梁成华.蔬菜保护地土壤肥力特征及其调控研究[D].沈阳:沈阳农业大学,1996.